

文章编号: 0253-2239(2003)03-0310-03

一种新的长周期光纤光栅制作技术*

李翔辉 夏 历 冯 佳 陈向飞 谢世钟

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要: 长周期光纤光栅在光纤通信和光纤传感领域有着广泛的应用。目前制作长周期光纤光栅的方法存在着制作成本、光栅性能和制作过程复杂之间的矛盾。提出了一种新的长周期光纤光栅制作技术。以宽光谱紫外光源代替激光器来制作长周期光纤光栅。采用该项技术可以同时制作出多根具有良好光谱性能的长周期光纤光栅,使长周期光纤光栅的制作更加简单、经济、实用,特别适合于批量工业化生产。

关键词: 导波光学;长周期光纤光栅;紫外光源;制作

中图分类号: TN25 文献标识码: A

1 引 言

光纤光栅作为一种新的光通信器件,已在光纤通信、光纤传感等方面有了广泛的应用。长周期光纤光栅具有背向反射极低的特点,可以方便地用来制作光纤带阻滤波器^[1]、掺铒光纤放大器的增益平坦化器件^[2]、光纤模式变换器^[3]、温度传感器、压力传感器^[4]等器件。这使得长周期光纤光栅具有很大的市场潜力和良好的应用前景。

目前,制作长周期光纤光栅的主要方法有:1)利用紫外光致折射率的改变来制作长周期光纤光栅,如:采用激光器和振幅模板的方法,或采用激光器和微透镜列阵的方法^[5]等。这种制作方法可以得到精确、稳定的光纤光栅器件,但制作成本高;2)利用微弯形变的方法来制作长周期光纤光栅,如:采用电弧法^[6]、等周期刻槽法^[7,8]等。这种制作方法简便、容易控制,但光栅的一致性和光谱特性没有方法 1)好;3)采用熔融拉锥的技术来制作长周期光纤光栅^[9]。这种方法制作的控制难度较大,制作过程复杂。

本文提出了一种新的长周期光纤光栅制作技术,即采用宽光谱紫外光源代替激光器,制作长周期光纤光栅。该技术制作的长周期光纤光栅具有方法 1)的优点,而且,由于采用了价格远远低于激光器的宽光谱紫外光源作为光栅的制作光源,从而大大降低了长周期光纤光栅的制作成本。同时,由于宽光谱紫外光源可以是点光源或是线光源,这就使得本

方法有一个明显的优点,即在制作长周期光纤光栅时,不再受光源尺寸的限制,可以利用一块或几块振幅模板同时制作多根长周期光纤光栅,极利于长周期光纤光栅的批量生产。

2 制作原理

光纤光栅的相位匹配条件为

$$\beta_1 - \beta_2 = 2\pi/\Lambda \quad (1)$$

其中 β_1 和 β_2 分别为光纤中模式 1 和模式 2 的传播常量, Λ 为模式 1 耦合到模式 2 所需的光栅周期。长周期光纤光栅是将光纤中正向传播的导波模式耦合到正向传播的包层模式。在单模光纤中,基模 LP_{01} 传播常量用 β_{01} 表示,包层模传播常量用 $\beta_{cl}^{(n)}$ 表示。其中, n 为模的阶数,根据相位匹配条件有

$$2\pi/\Lambda = \beta_1 - \beta_2 = \beta_{01} - \beta_{cl}^{(n)}. \quad (2)$$

为求解基模和一系列包层模的传播常量,利用数学公式对模式场的特征方程求解,经过运算即可以得出基模和几个低阶包层模式的归一化传播常量与归一化频率之间的关系^[10]。对于给定的一个光栅周期,可以形成基模和几个不同包层模式间的模式耦合,且基模在更高的频率与高阶包层模耦合,在光谱上反映为存在一系列不同波长和大小的尖锐损耗峰。

本文采用宽光谱紫外光源代替激光器成功地制作出长周期光纤光栅,其机理在于:1)光纤本身对宽波段的紫外光有光敏性;2)长周期光纤光栅的周期远大于紫外光的波长。因为光敏光纤能吸收较宽波段的紫外光,因此一个窄带光谱的紫外激光器并不是必需的,同时,光栅的周期也即振幅模板的周期为 $300 \sim 700 \mu\text{m}$,而紫外光源的波长小于 400 nm ,紫外

* 国家自然科学基金(60107004)资助课题。

E-mail: lxx@tsinghua. edu. cn

收稿日期: 2002-02-25; 收到修改稿日期: 2002-03-26

光源的波长远小于振幅模板周期,这样,在紫外光通过振幅模板时就可以忽略衍射的影响。因此,可采用宽光谱紫外光源替代紫外激光器完成长周期光纤光栅的制作。

3 实验结果

本制作技术所采用的写入实验装置如图 1 所示。其中,光源采用功率为 100 W 的宽光谱紫外点光源,该光源在测试距离为 10 cm,对应于波长 365 nm 的辐照度为 14.75 mW/cm^2 ,它的光谱图如图 2 所示。紫外光源的光通过一块等周期的振幅模板,照射在经载氢处理的 B-Ge 共掺的单模光纤上。该振幅模板长度为 50 mm,模板周期为 $300 \mu\text{m}$,经过一定的照射时间后,即可写出相应的长周期光纤光栅。在整个制作过程中,采用掺铒光纤放大器的放大自发发射谱作为测试光源,用精度为 0.05 nm 的 AQ-6315B 光谱仪作为检测仪进行光栅性能的测试。

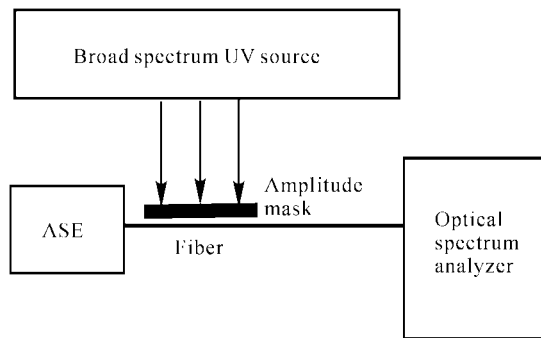


Fig. 1 Experimental setup for long period gratings fabrication

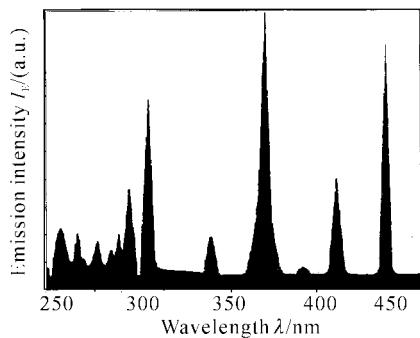


Fig. 2 Output spectrum of the broad spectrum UV sources

制作长周期光纤光栅的透射谱如图 3 所示,写入时间为 3 min,峰值波长为 1531.96 nm,透过率为 6.694 dB。随着写入时间的增加,当写入时间达到 6 min 时,长周期光纤光栅的透射谱如图 4 所示。可以看出,此时出现了多个不同波长和大小的尖锐损耗峰。

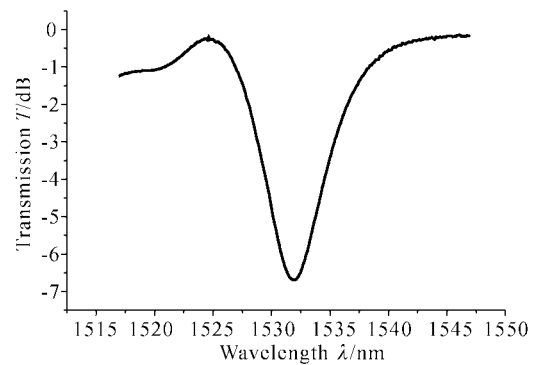


Fig. 3 Measured transmission spectrum of the LPG, written time: 3 min

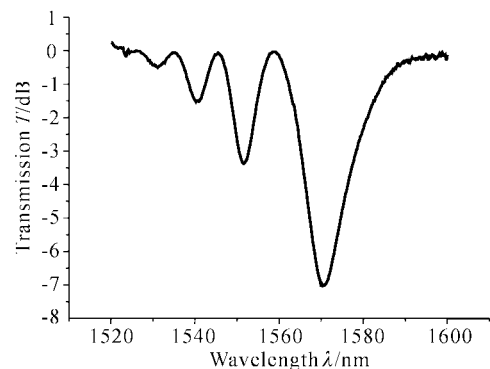


Fig. 4 Measured transmission spectrum of the fabricating LPG, written time: 6 min

在实验中,我们还使用了紫外线状光源,如 250 W 的光源,也写出了和上述结果基本相同的长周期光纤光栅。这里我们就不再详述。

同时,我们使用功率为 80 mW、244 nm 的连续倍频氙离子激光器作为光源,采用相同的光纤,在写入时间为 8 min 时,制作出的长周期光纤光栅的峰值波长为 1510.20 nm,透过率为 7.5 dB。由此可以看出,采用宽光谱紫外光源制作长周期光纤光栅是一种十分有效的方法。

利用宽光谱紫外光源的光谱特性,我们可以同时放置几块振幅模板,同时写出多根长周期光纤光栅。该项技术可用于长周期光纤光栅的批量生产。

结论 本文提出一种新的制作长周期光纤光栅的技术,用宽光谱紫外光源通过一块或几块振幅模板,照射一根或多根光纤,制作长周期光纤光栅。该项技术可以大大降低长周期光纤光栅的制作成本,使制作过程简单、灵活、多样化。同时,制作设备维护方便,特别适用于长周期光纤光栅的大规模工业化生产,在国内外有很好的推广价值,能获得良好的经济效益。

参 考 文 献

- 1 Vengsarkar A M, Lemaire P J, Judkins J B *et al.*. Long-period fiber gratings as band-rejection filters. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(1):58~65
- 2 Sun Y, Sulthoff J W *et al.*. A gain-flattened ultra wide band EDFA for high capacity WDM optical communications systems. Proc. ECOC '98, Madrid, Spain, 1998, 53~54
- 3 Fallon R W, Zhang L, Everall L A *et al.*. All-fiber optical sensing system: Bragg grating sensor interrogated by a long-period grating. *Meas. Sci. Technol.*, 1998, **9**(12): 1969~1973
- 4 Bhatia V, Vengsarkar A M. Optical fiber long-period grating sensors. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(9):692~694
- 5 Tam H Y, Du Weichong, Liu M S Y. Novel method for writing long-period fiber grating in single-mode fiber using micro-lens array. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1998, **18**(11):1599~1600 (in Chinese)
- 6 In Kag Hwang, Seok Hyun Yun, Erik Gentsch *et al.*. Profile-controlled long-period gratings based on period microbends. OFC '99, FK6, 1999, 177~179
- 7 Savin S, Digonnet M J F, Kino G S *et al.*. Tunable mechanically induced long-period fiber gratings. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(10):710~712
- 8 Ai Jiang, Ye Ailun, Liu Yuqiao *et al.*. A novel fabrication technique of long period fiber gratings. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(5):709~712 (in Chinese)
- 9 Dianov E M, Karpov V I, Kurkov A S *et al.*. Long-period fiber gratings and mode-field converters fabricated by thermodiffusion in phosphosilicate fibers. ECOC '98, 1998, 395~396
- 10 Tsao C. *Optical Fiber Waveguard Analysis*. New York: Oxford University Press, 1992

A Novel Technique for Long Period Gratings Fabrication

Li Xuhui Xia Li Feng Jia Chen Xiangfei Xie Shizhong

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

(Received 25 February 2002; revised 26 March 2002)

Abstract: Long period gratings (LPGs) will play an important role and be widely used in the fields of optical communication and optical fiber sensing. Many useful methods have been proposed to manufacture LPGs. However, there are some obvious disadvantages in these existing methods: high performance but high cost, or easy fabricating but low performance. To overcome these shortcomings, a novel technique is proposed for LPGs fabrication. In this method, a broad spectrum UV source is used instead of UV laser to write LPGs, and more than one LPG can be written simultaneously. As a result, it is easy to write LPGs with high performance, low cost and easy manufacturing. This technique can be used in industrial production of LPGs with very low cost.

Key words: guiding wave optics; long period fiber grating; ultraviolet source; fabrication